

SOUS LA DIRECTION
DE MANOLA ANTONIOLI



B I O M I M É T I S M E

SCIENCE, DESIGN ET ARCHITECTURE

LOC

COLOPHON

OUVRAGE COÉDITÉ PAR

L'École nationale supérieure d'art de Dijon,
le Laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyX)
et l'UMR 7218 LAVUE CNRS

CRÉDITS

Pages 18, 21, 29 © Jean-Marc Chomaz. Page 44 (haut) © BPK, Berlin, Dist. RMN-Grand Palais/image BStGS. Page 44 (bas) © Brooklyn Museum, gift of Harvey Isbitts, 1998. Pages 51 et 52 © Sam van Aken, Courtesy of Ronald Feldman Fine Arts, New York. Page 76 © Olivier Buhagiar. Page 94 © Ionel Schein. Photographie : Philippe Magnon - collection Frac Centre-Val de Loire. Pages 98 © Michael Hansmeyer. Photographie : François Lauginie - Collection Frac Centre-Val de Loire. Page 104 (haut) © Günther Domenig & Eilfried Huth (Avec Haus-Rucker-Co et Christo). Photographie : François Lauginie - Collection Frac Centre-Val de Loire. Page 104 (bas) © Daniel Widrig. Photographie : François Lauginie - Collection Frac Centre-Val de Loire - Donation Daniel Widrig.

DIRECTION ÉDITORIALE

Éric Cez

SUIVI ÉDITORIAL

Thomas Ménétrey

CRÉATION GRAPHIQUE

Christian Kirk-Jensen

CORRECTIONS

Aurélien Moline

ACHEVÉ D'IMPRIMER

Achevé d'imprimer en avril 2017
sur les presses de l'imprimerie Norprint.
Imprimé au Portugal.

ISBN 978-2-919507-68-9
Dépôt légal : mai 2017
© Éditions Loco, 2017

www.editionsloco.com

BIOMIMÉTISME

SCIENCE, DESIGN ET ARCHITECTURE

SOUS LA DIRECTION DE
MANOLA ANTONIOLI

AVEC LA COLLABORATION DE
JEAN-MARC CHOMAZ ET LAURENT KARST

Cet ouvrage est publié par les éditions Loco
en coproduction avec l'École nationale supérieure d'art de Dijon,
le Laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyX) et l'UMR 7218 LAVUE CNRS.

ENSA
ART
&
DESIGN



SOMMAIRE

- P.7** **INTRODUCTION**
par Manola Antonioli
- P.19** **BIOMIMÉTISME : LA FORME, LA FONCTION ET LA RÈGLE**
par Jean-Marc Chomaz
- P.31** **INCERTITUDE, CONTINGENCE ET INTUITION MATÉRIELLE :
UN CADRE DE RECHERCHE POUR UN « DESIGN MINEUR »**
par Betti Marenko
- P.45** **L'ART DE LA GREFFE**
par Emeline Eudes
- P.59** **LES NOUVEAUX MODÈLES DE LA NATURE :
UNE NOUVELLE INDIVIDUATION POUR L'HOMME ?**
par Jehanne Dautrey
- P.77** **LA MÉTAPHORE DE LA MOULE**
par Laurent Karst
- P.81** **imiter la nature / faire avec la nature**
par Alessandro Vicari
- P.95** **BIOMIMÉTISME(S)**
par Gilles Rion
- P.111** **POUR UN BIOMIMÉTISME DES MILIEUX**
par Mathias Rollot
- P.122** **ARCHITECTURE, BIOMIMÉTISME ET VIE ARTIFICIELLE :
VERS DES ARCHITECTURES VÉRITABLEMENT VIVANTES**
par Marion Roussel
- P.136** **CONCLUSION :
POUR UN BIOMIMÉTISME NON MIMÉTIQUE**
par Manola Antonioli

des processus vivants de ce problème d'où se matérialisera une forme simple ou complexe, euclidienne ou fractale dans l'espace aussi bien que dans le temps.

Biomimétisme d'évolution

Nous étions plante, nous étions pierre, nous étions vivants, sommes-nous morts en oubliant la règle d'évolution, de l'exubérance, du complexe, du divers inutile et gratuit, du non-optimal, la règle d'être avant tout l'autre, du plaisir dans l'échange et l'entraide sans raison ni calcul, d'être soi seulement dans le miroir du vent ? La crise écologique, le point de disjonction planétaire, la singularité anthropocène, viennent de la dislocation de cette mémoire, de ce long fil du Minotaure, de ce lien sans tension sans attente. Sommes-nous au seuil d'un biomimétisme plus large, reconsidérant ainsi l'ensemble sur lequel appliquer la règle d'évolution, l'agent devenant aussi bien la cellule dans les nouvelles recherches en morphologie embryonnaire, que le territoire et tous ses acteurs minéraux ou vivants ? La clef de voûte du processus est-elle la diversité, secret de la résilience, condition de l'altérité ?

La science ne sait pas formuler cette règle d'évolution sans fonction de gain ni de coût, sans formulation en termes de service, de bienfait ou d'avantage. Ce devrait être un protocole de non-compétition, de complémentarité, de recherche de l'innovant, du divers, du différent pour avoir des autres, des inconnus à découvrir, et non l'image inversée de son autre moi. Nous avons la responsabilité de jouer notre rôle, de prendre notre part. Devenir pierre, devenir plante, devenir brume dans le regard du soleil. Il nous faut renoncer à comprendre pour ressentir, percevoir. La règle d'évolution est cet échange non numéraire, non quantifiable, mais émotionnel. Il nous faut accepter cette mémoire première, ces souvenirs d'avant notre naissance, ce dialogue éternel entre tous les êtres, écouter en nous les échos du chemin de la poussière condensée par la collision des nébuleuses intersidérales à la vibration bleutée des ailes d'une libellule.

INCERTITUDE, CONTINGENCE ET INTUITION MATÉRIELLE : UN CADRE DE RECHERCHE POUR UN « DESIGN MINEUR »

BETTI MARENKO

Ma contribution est axée sur la façon dont une nouvelle approche de la matérialité et de ses médiations peut donner forme à des manières de faire du design. Si le défi à relever aujourd'hui par le design consiste à imiter l'habileté de la nature dans la conception d'un monde artificiel, la voie pour y parvenir pourrait consister à prêter plus d'attention à la morphogenèse de la matière. Plutôt que de traiter de biomimétisme, il s'agira donc dans les pages qui suivent de réfléchir sur la façon de conceptualiser la morphogenèse afin de réinventer les processus du design en relation à une « matérialité numérique ». Je m'intéresse tout particulièrement aux aspects de la médiation numérique qui concernent l'incertitude, la contingence et l'indétermination, dans la mesure où elles alimentent les processus d'une production dans laquelle l'agencement des données numérique et de la matière n'est jamais entièrement programmé par avance.

Morphogenèse matérielle et design

En empruntant ses métaphores aux discours sur le changement de paradigme scientifique dans les sciences du XX^e siècle, le théoricien de

l'architecture Sanford Kwinter affirme dans l'ouvrage *Far from equilibrium: essays on technology and design culture*¹ que la capacité de la matière à s'auto organiser de façon spontanée doit être prise en compte par ceux qui conçoivent des artefacts. Même si cette affirmation n'a rien de particulièrement révolutionnaire, Kwinter a le mérite d'attirer notre attention sur la notion d'émergence et évolution de la forme (c'est-à-dire la morphogenèse) dans tous les aspects de la réalité, bien au-delà de l'architecture. Dans d'autres textes², Kwinter pose des questions importantes au sujet de la morphogenèse, des systèmes auto-organisés et la création de formes qui changent et évoluent à travers l'espace et le temps, notamment en se demandant quelle sorte de modèles du possible on pourrait intégrer avec profit dans le réel. Il montre ainsi l'insuffisance du modèle hylémorphique classique qui explique la genèse des formes par un modèle linéaire où seulement un nombre limité de possibilités se reproduit et où il n'y a pas de place pour que la nouveauté puisse se manifester. Dans un tel modèle, écrit Kwinter, « l'état d'un système à un moment donné peut être exprimé dans les mêmes termes (nombre et relation de paramètres) qu'on utilise pour décrire ses états précédents ou suivants³ ». En d'autres termes, si ce modèle peut expliquer la façon dont un corps qui se déplace dans le système peut se modifier, il ne peut cependant jamais rendre compte du changement qui survient dans le système en tant que tel. Par ailleurs (et il s'agit d'un élément essentiel pour identifier l'inadéquation de l'hylémorphisme) les seules variations que ce modèle est en mesure d'expliquer sont celles définies par une perpétuelle auto-identité – quand un corps change seulement en degrés (quantité), mais non pas en genre (qualité), quand, au fond, ces changements ne sont pas des changements réels, dans la mesure où ils ne peuvent pas produire l'émergence de la variété des formes.

La proposition opposée au modèle hylémorphique consisterait à affirmer que la matière est dotée par elle-même de capacités morphogénétiques. La morphogenèse décrit un processus de génération de

la forme qui se déroule à travers la croissance, la différenciation et la variation continues, qui implique un dépliement continu de la matière au cours duquel de nouvelles formes peuvent émerger de l'interaction imprévisible de forces dynamiques. Où, par conséquent, il y a des formes parce qu'il y a des processus. Dans ce modèle, il n'existe plus de forme idéale imposée par une intervention extérieure, par un « design » idéal. La forme émerge de virtualités qui s'actualisent sans cesse : c'est ainsi que le nouveau est produit et que ce qui n'est pas parvient à l'être.

Ce deuxième modèle, qui émerge avec précision dans la théorie contemporaine de l'architecture⁴, s'inspire de la conception d'une matière capable d'auto organisation que l'on trouve dans la philosophie de Gilles Deleuze et Félix Guattari. Dans *Mille plateaux*⁵, Deleuze et Guattari postulent que la matière grouille du potentiel de son évolution créatrice incessante et que tout prend forme à travers la différenciation et l'individuation d'une seule et unique substance⁶. La différence de catégorie entre la matière et la forme est ainsi contournée, pour célébrer « l'idée prodigieuse d'une Vie Non-organique », où ce qui compte ce ne sont plus la forme et la matière, mais les forces, les densités, les intensités.

Voilà ce qu'une philosophie matérialiste peut apporter au design : une solution pour arrêter de penser la matière comme quelque chose d'obéissant et inerte, qui suit passivement une imposition qui lui vient de l'extérieur, qui se conforme à une loi ou à un plan, pour se concentrer au contraire sur l'idée d'une matière active, une matière énergie brute, une matière-mouvement capable de générer toutes les structures qui nous entourent à l'aide de processus émergents qu'elle est en mesure d'initier par elle-même. C'est ce flux de matière, plutôt que

¹ Sanford Kwinter, *Far from equilibrium: essays on technology and design culture*, Barcelone & New York, Actar, 2007.

² Sanford Kwinter, « Landscapes of Change: Boccioni's "Stati d'animo" as a General Theory of Models », *Assemblage*, n° 19, 1992, p. 50-65; « Leap in the Void: A New Organon? », in Cynthia Davidson (éd.), *Anyhow*, Cambridge Massachusetts/London, MIT Press, 1998, p. 22-27; *Architectures of Time. Toward a Theory of the Event in Modernist Culture*, Cambridge Massachusetts/London, MIT Press, 2002.

³ Sanford Kwinter, « Landscapes of Change: Boccioni's "Stati d'animo" as a General Theory of Models », *op. cit.*, p. 53.

⁴ Par exemple, le théoricien de l'architecture Neil Leach, dans l'article « Digital Morphogenesis » (*Architectural Design*, n° 79, 1, p. 32-37), montre que le changement de paradigme qui sépare l'insistance post moderne sur la question de l'apparaître du nouvel intérêt pour les performances et les fonctionnalités de la matière est l'indice d'un intérêt croissant pour la morphogenèse dans l'architecture contemporaine.

⁵ Gilles Deleuze et Félix Guattari, *Mille plateaux*, Paris, Les Éditions de Minuit, 1980.

⁶ Deleuze emprunte à Spinoza l'idée d'une substance unique et à Henri Bergson celle que la matière est faite de « modifications, perturbations, changements de tension ou d'énergie et de rien d'autre » (Henri Bergson, *Matière et mémoire* [1896], Paris, PUF, 2012). Pour Bergson, la matière et les diverses formes de la vie sont des modalités différentes du même unique élan vital.

les structures déjà organisées, qui constitue notre réalité immédiate⁷. Notre réalité présente (et future) est conçue ainsi comme « pure différence » qui émerge de la matière à travers le temps. Ainsi, le potentiel du changement et du devenir, de l'apparition du nouveau se loge dans cette matière qui se déplie sans cesse.

À partir des points de vue de la philosophie et de la théorie et la pratique de l'architecture, le philosophe Manuel De Landa et l'architecte Lars Spuybroek⁸ ont tous les deux défendu cette forme de matérialisme radical : un matérialisme vitaliste qui considère la matière comme une variation continue et qui analyse les implications d'une approche philosophique qui ne se limite pas à examiner les propriétés de la matière, mais qui prend en compte également sa capacité d'affecter et d'être affectée, l'ensemble des intensités desquelles dépendent ses variations. Le design peut apprendre de ces approches théoriques à prendre en compte *l'information matérielle*⁹ : la matière en tant qu'elle peut orienter activement un processus génératif et non pas comme un élément qui interviendrait après-coup, une fois la phase de conception terminée. L'idée d'une matière inerte est dépassée quand on passe *de la forme à la formation*, voire de l'acte de « produire » des formes à celui de les « trouver¹⁰ ».

Ce changement de point de vue entraîne des conséquences essentielles pour le design. En premier lieu, une perspective morphogénétique incite le design à questionner sa relation avec la matérialité, tout comme certains de ses présupposés sur la façon dont les objets sont produits. En saisissant la matière à travers le modèle morphogénétique – où la matière n'est pas statique mais s'agrège dans la continuité de différentes étapes –, le design peut théoriser la production du nouveau non pas comme le sous-produit d'une action externe, mais d'une façon radi-

⁷ À ce sujet, on pourra lire Manuel De Landa, « Immanence and Transcendence in the Genesis of Form », in Ian Buchanan (éd.), *A Deleuzian Century*, Durham et Londres, Duke University Press, 1999, p. 119-134.

⁸ Manuel De Landa, *Intensive science and Virtual Philosophy*, Londres et New York, Continuum, 2002 ; « Material Complexity », in N. Leach, D. Turnbull et C. Williams (éd.), Wiley, 2004, p. 14-21 ; « Material Evolvability and Variability », in Lars Spuybroek (éd.), *Architecture of Variation*, Londres, Thames and Hudson, 2009, p. 10-17 ; Lars Spuybroek, *The Architecture of Continuity*, Rotterdam, V2_Publishing/NAi Publishers, 2008.

⁹ Concept développé par Neil Leach dans l'article « Digital Morphogenesis », *Architectural Design*, n° 79, 1, 2009, p. 32-37.

¹⁰ *Ibid.*

calement matérielle. En repensant la matière comme un ensemble d'événements et de processus, plutôt que comme un ensemble de choses ou d'objets, le design peut modifier son orientation pour passer de son obsession téléologique du résultat final et de sa préoccupation habituelle pour l'usage à une réflexion sur la manière de conceptualiser, cartographier et exploiter les virtualités matérielles qui constituent son domaine dans toute sa diversité. Se produit ainsi le passage du *moulage* à la *modulation*¹¹, qui permet de remettre au centre du processus de création l'interaction de la matérialité et de la temporalité. Dans cette perspective, ce qui constitue le processus du design *per se* est le processus d'actualisation du virtuel¹².

Une des conséquences immédiates de ce modèle est qu'il pousse le design à donner moins d'importance au rôle surplombant et tout-puissant du designer-star. Ce qui devient essentiel est le régime abstrait des forces capables de déployer la nouveauté qui devient visible dans les objets produits par le design. Ainsi tout objet (un bâtiment, une ville ou un artefact quelconque) n'est rien d'autre qu'une distribution singulière des forces et des intensités qui traversent la matière. En d'autres termes, la forme est directement *informée* par le mouvement de la matière¹³.

Un exemple intéressant qui peut aider à comprendre ce point est *Ocean Pavilion*, l'un des projets développés au MIT par le groupe de recherche « Mediated Matter », qui a réalisé des études sur la nouvelle matérialité et les nouvelles théories et pratiques du design qui combinent la médiation numérique et la fabrication numérique avec la morphogenèse¹⁴. Le projet *Ocean Pavilion* est basé sur des expériences concernant les propriétés de la chitine (élément qui forme la structure de l'exosquelette des crustacés), qui est extraite et ensuite mélangée de différentes façons à l'eau pour obtenir un composite d'hydrogel. Ce matériel, qui peut être plus ou moins rigide selon le pourcentage d'eau

¹¹ Cf. Gilles Deleuze, *Le Pli. Leibniz et le baroque*, Paris, Les Éditions de Minuit, 1988.

¹² Pour Gilles Deleuze le virtuel est le réservoir d'un potentiel diversifié qui peut s'actualiser (cf. Gilles Deleuze, *Le Bergsonisme*, Paris, PUF, 1966, et *Différence et répétition*, Paris, PUF, 1968). Ainsi, l'actualisation du virtuel, le changement que le virtuel produit en tant que force qui s'insère dans la réalité concrète en la brisant, ne doit pas être comprise en termes de choses, mais en termes d'événements.

¹³ À ce sujet, on pourra lire le biologiste D'Arcy Thompson qui écrit que la forme de chaque portion donnée de matière, ainsi que ses changements, est formée par un « diagramme de forces » (D'Arcy Thompson, *Forme et croissance* [1917], Paris, Seuil, 2009).

¹⁴ <http://matter.media.mit.edu/>

contenue dans le mélange, est entièrement biodégradable et peut changer de forme. Le « Mediated Matter Group » a développé un processus de fabrication robotisé à base d'eau, une technologie d'impression 3D où un robot fait sur mesure dépose le matériau pour construire des objets en trois dimensions à grande échelle, des produits entièrement recyclables ou des structures éphémères qui peuvent se dissoudre très rapidement. L'*Ocean Pavilion*, fait de matériaux dérivés de crustacés, devient une structure flottante destinée à se dissoudre de nouveau dans l'eau, d'où provient la matière qui a permis de le produire. La sorte de « conscience matérielle » qui est mise en évidence dans ce projet, inspirée par les stratégies de la nature où la forme est générée par les variations de la matière, produit une stratégie de design qui exploite les possibilités d'un matériau organique par l'intermédiaire de technologies numériques. L'approche traditionnelle qui donne la priorité à la structure et que l'on retrouve habituellement dans les projets d'architecture à grande échelle est totalement bouleversée. Au lieu d'une séquence hiérarchique « forme-structure-matériau » nous avons un processus *bottom-up* où le matériau donne la forme à la structure qui, à son tour, donne la forme à des objets conçus de façon biomimétique. La matière n'est plus fonction de la forme, mais elle la détermine.

Une approche qui donne la priorité à la matière entraîne des conséquences fondamentales pour la théorie et la pratique du design. Comme l'affirment clairement Deleuze et Guattari dans *Mille plateaux*, si la matière est un flux, il faut la suivre. Suivre la matière signifie introduire l'intuition dans l'action, connaître la matière et s'efforcer de comprendre de quoi elle est faite : d'éléments qui ne sont ni formels ni formés, mais indéterminés, flous et non définis. Suivre la matière signifie s'approprier cette absence de contours définis, son imprévisibilité et sa *contingence*. Suivre la matière signifie suivre les voies du monde, agir dans un monde qui, suivant une expression de l'anthropologue Tim Ingold, est toujours en ébullition, un monde « in-formation, dans lequel les choses n'apparaissent pas comme des objets limités mais comme des confluences de matériaux qui auraient provisoirement fusionné dans une forme reconnaissable¹⁵ ». Ainsi, la production

¹⁵ Tim Ingold, *Bringing Things to Life: Creative Entanglements in a World of Materials*, ESRC National Centre for Research Methods, NCRM Working Paper Series http://eprints.ncrm.ac.uk/1306/1/0510_creative_entanglements.pdf (consulté le 27/12/2015).

d'objets n'est plus une relation entre l'image mentale de quelque chose et sa manifestation matérielle (selon le modèle hylémorphique). Elle devient plutôt un moment de conscience sensorielle, un flux de la matière, un engagement dans la contingence. La contingence devient une force avec laquelle travailler ou (si l'on utilise une expression du philosophe Robin Mackay) un moyen de travailler avec des « matériaux anonymes¹⁶ » qui nous travaillent et qui travaillent à *travers* nous. Pour Mackay la contingence est « la tentative de penser des événements qui se produisent mais qui *ne doivent pas nécessairement se produire*, des événements qui auraient pu se produire diversement¹⁷ ». La contingence ne peut être saisie qu'en tant qu'*événement*.

La variabilité et la contingence produisent l'absence de linéarité des processus du design dont chaque composante donne forme aux autres sans aucune hiérarchie fixe et de façon non téléologique. Ceci apparaît clairement dans le passage de l'action de produire des formes à celle de trouver des formes (où la forme n'est pas conçue mais trouvée) qui a lieu dans le domaine de l'artisanat numérique contemporain. Comme le reconnaissent de plus en plus fréquemment à la fois les praticiens et les théoriciens, cette façon de procéder est basée sur une intuition holistique et sur le processus heuristique d'essais et erreurs. Par exemple, l'historien de l'architecture Mario Carpo décrit la façon dont la recherche de la forme dans le design numérique est basée sur une « empathie tacite entre celui qui fabrique et les matériaux travaillés¹⁸ » : une approche intuitive prime sur le projet et le calcul, à l'aide de la puissance de modélisation des outils numériques. Le potentiel d'un artisanat numérique réside précisément dans la capacité du designer à prendre des décisions éclairées au sujet des résultats du système génératif, à les capturer et leur donner forme. Ce qui se produit ainsi est un processus de « précise indétermination¹⁹ ». Le risque, l'imprévisibilité et la contingence deviennent des forces avec lesquelles travailler.

¹⁶ Robert Mackay, *The Medium of Contingency*, Manchester, Urbanomic, 2015.

¹⁷ *Ibid.*, p. 1.

¹⁸ Mario Carpo, « The Ebb and Flow of Digital Innovation : from Form Making to Form Finding-and Beyond ».

¹⁹ Branko Kolarevic, « The (Risky) Craft of Digital Making », in Branko Kolarevic et K. R. Klinger (dir.), *Manufacturing Material Effects. Rethinking Design and Making in Architecture*, New York et Londres, Routledge, 2008, p. 122.

Comme les architectes Gramazio et Kohler l'ont montré²⁰, la matérialité numérique ne concerne pas exclusivement l'interaction des processus matériels et numériques. Ce qui compte ce sont les *nouvelles réalités* générées par cette interaction entre les données et la matière, les nouveaux affects, percepts et concepts qu'elle produit. La matérialité numérique, en d'autres termes, configure de nouvelles formes de l'expérience individuelle et collective, en faisant surgir une redistribution du sensible par la médiation numérique. Ces nouvelles réalités, ces nouvelles formes de pensée et ces nouvelles perceptions sont produites par des types d'intelligence matérielle qui se déploient de façon morphogénétique et prennent donc forme grâce à la présence de la contingence dans le processus de conception. Comment peut-on donc investiguer l'incertitude et la contingence dans les processus numériques où la combinaison des données et de la matière détermine une nouvelle distribution du sensible ? Où peut-on trouver l'imprévisibilité au sein de la forme prescriptive, générée par les algorithmes linéaires de la réalité computationnelle basée sur des ensembles d'instructions ? De quelle façon les forces et les lois physiques (comme la gravité) ou les approches sensibles, basées sur l'intuition (comme la connaissance implicite évoquée par Carpo), peuvent s'intégrer aux normes de la logique et du calcul numériques ?

On peut trouver un exemple éclairant d'une expérience de la matérialité numérique basée sur l'intuition dans le projet *Greyshe'd*, de l'architecte Ryan Luke Johns (2014). Celui-ci étudie la façon dont un designer peut affecter et manipuler en temps réel un processus de fabrication piloté par un robot. Il a ainsi développé une interface de réalité augmentée qui permet à l'utilisateur de modifier le fonctionnement du robot en utilisant un écran tactile. L'opération est réduite à une commande à la fois, au lieu d'être basée sur un ensemble de commandes prédéterminé. L'idée est que les nouvelles formes de médiation numérique « comblent le fossé entre les sensibilités humaines et les propriétés matérielles dans le processus de conception, pour aboutir à une nouvelle forme de fabrication réceptive à la fois à la forme et à l'information²¹ ».

²⁰ Cf. Fabio Gramazio, Matthias Kohler et Silke Langenberg (dir.), *Fabricate. Negotiating Design and Making*, Zurich, GTA Verlag, 2014.

²¹ Ryan Johns, « Augmented Materiality: Modelling with Material Indeterminacy », in Fabio Gramazio, Matthias Kohler et Silke Langenberg (dir.), *Fabricate. Negotiating Design and Making*, op. cit., p. 216-223.

La notion de milieu doit être prise en considération dans ce contexte dans la mesure où elle met en évidence aussi bien l'écologie des éléments et des pratiques au sein d'un système qu'une forme de connaissance résolument non téléologique²². En outre, elle propose une manière de penser qui implique un possible cadre de recherche pour un *design mineur*, qui soit en mesure de produire de nouvelles façons de penser, de nouveaux concepts et de nouveaux affects, notamment ceux générés par la rencontre du design avec une morphogenèse guidée par la contingence. De ce point de vue, on pourrait imaginer le processus de conception comme un domaine basé sur l'événement de la contingence, sur la non-linéarité, l'ambiguïté, l'indétermination, l'intuition et même la contradiction plutôt que sur des certitudes. En considérant les forces de la contingence comme des matériaux de travail soumis (comme la matière) aux processus de la morphogenèse, on met l'accent sur leur capacité à générer des problèmes, dans la mesure où elles manifestent une tension présente dans le processus du design entre, d'une part, le désir de capturer la forme et, d'autre part, le besoin de connaître et de travailler par la contingence ; une tension entre la capture de la forme et le virtuel ; entre la résolution de problèmes (domaine du possible) et la recherche de nouveaux problèmes (domaine du virtuel). En considérant la force problématisante de la contingence comme une composante essentielle du processus du design, on conteste la vision traditionnelle de l'essence du design comme un projet intentionnel ou même comme une duperie rusée, pour reprendre la célèbre formule du philosophe Vilém Flusser²³. Quand on étudie le numérique dans cette perspective, les objets techno-numériques apparaissent comme des formes d'intelligence matérielle qui se déploient morphogénétiquement dans le cadre d'un projet de design. Les machines et les dispositifs numériques auxquels nous sommes confrontés, avec leurs infrastructures, leurs données et leur matérialité, avec tout le paysage technologique dans lequel nous sommes immergés, produisent de

²² Au sujet de la notion de « milieu », je renvoie à Gilles Deleuze et Félix Guattari, *Mille plateaux*, op. cit. (notamment aux pages 384-416), et à Isabelle Stengers, « Introductory Notes on an Ecology of Practices », *Cultural Studies Review*, 11(1), 2005, p. 183-196. Pour une généalogie détaillée de ce terme et de son rôle dans la pratique du design, on pourra lire J. O'Reilly, « Milieu and the Creation of the Illustrator: Chris Ware and Saul Steinberg », in Betti Marenko et Jamie Brasset, *Deleuze and Design*, Edinburgh, Edinburgh University Press, 2015, p. 191-218.

²³ Cf. Vilém Flusser, « Le mot design », in *Petite philosophie du design*, Belval, Circé, 2002, p. 8 : « Le mot design se présente dans un contexte où il a partie liée avec la ruse et la perfidie. Un designer, c'est un complotier perfide qui tend des pièges. »

nouvelles formes d'intelligence et de nouveaux types d'activité qui, à notre avis, exigent de la part du design et du designer, de nouvelles formes d'intervention.

Les objets techno-numériques brouillent les frontières entre *hardware*, *software* et interaction. Ils deviennent ce qu'on veut bien en faire (une application, un logiciel, un flux de données) à un moment donné. Cette convergence et cette plasticité créent une expérience qui est hautement immersive, sensorielle et affective, un nouvel agencement de multiples intelligences matérielles (non nécessairement et non exclusivement humaines), une population de choses intelligentes faites de carbone et de silicium. C'est un paysage d'objets fait de matière programmable, distribution de l'information et réorganisation du sensible. La fausse distinction entre l'information, les données et le numérique d'une part et les objets, la matière et la réalité physique d'autre part ne peut plus perdurer.

Il y a une seule chose à faire pour regarder de plus près la relation entre la morphogenèse, le design et la matérialité numérique : suivre la matière encore plus loin, au cœur même du domaine du numérique ; suivre la piste de la matière au-delà de l'interface, pour accéder à la matérialité du numérique, aux puces électroniques et à leur composante principale, le silicium. Fidèles à l'idée qu'il faut suivre la matière, nous suivrons le chemin « mineur » du silicium au-delà de l'écran, chemin qui permet de comprendre de quoi la matière est capable, comment elle peut s'individuer dans la forme historiquement déterminée de l'objet numérique, question d'autant plus importante que les généalogies courantes de la technologie ont très largement ignoré la matérialité du numérique, et surtout les composantes microélectroniques et les semi-conducteurs desquels elle dépend²⁴.

Les microprocesseurs sont des composantes essentielles de notre environnement électronique, des circuits intégrés dont l'élément de base est le transistor : une minuscule structure de silicium qui agit comme un interrupteur, qui laisse passer ou qui arrête le courant

²⁴ À ce sujet, je me permets de renvoyer à mon article « Digital Materiality and the Intelligence of the Technodigital Object », in Betti Marenko et Jamie Brassett (dir.), *Deleuze and Design*, op. cit., p. 107-138, ainsi qu'à mon introduction de l'ouvrage (p. 1-30).

électrique. Le silicium est un cristal que l'on trouve principalement dans les plages de sable, l'élément le plus commun sur la Terre juste après l'oxygène. Le monde du calcul, le monde prétendument « immatériel » des données, notre monde hyperconnecté, repose essentiellement sur des cristaux de sable. Pour produire des microprocesseurs, le silicium est stocké dans des chambres à vide, ensuite empilé dans des lingots qu'on découpe en minuscules lamelles. Grâce à la technique de la photolithographie, les microprocesseurs sont gravés dans ces surfaces. Dans les années 1970, les microprocesseurs contenaient plusieurs milliers de transistors, chacun de la taille d'une gouttelette. Depuis 2007, ils contiennent plus d'un milliard de transistors, chacun de la taille d'un virus. En 2014, Intel a produit des transistors à l'échelle nanométrique (1nm=10⁻⁹). De tels exploits dans la miniaturisation révèlent paradoxalement la persistance de la matière au cœur du monde numérique, au moment même où elle semble vouée à disparaître. En effet, le microprocesseur est un dispositif qui réalise des opérations apparemment immatérielles à partir d'un substrat matériel. L'information est un processus de signalisation électrique du type « marche-arrêt » et ce processus est entièrement matériel : la transmission de l'information sous forme de *bits* (c'est-à-dire des modules binaires qui correspondent aux impulsions électriques) requiert du silicium, des produits chimiques et plastiques, des métaux et de l'énergie. On ne peut pas dissocier les 0 et les 1 de l'information des impulsions électriques et du silicium dans lesquels ils se transmettent. En d'autres mots, les systèmes matériels et les systèmes d'information sont interdépendants et on ne peut pas opposer un paradigme mécanique matériel à un paradigme électronique prétendument immatériel.

Cette interdépendance est évidente dans les conséquences de la progressive réduction de taille du silicium, qui est en train de conduire les ordinateurs dans l'impasse prévue par la Loi de Moore, selon laquelle l'augmentation exponentielle de la puissance computationnelle est basée sur des transistors de plus en plus petits et rapides. Les derniers transistors mis sur le marché par la société Intel ne mesurent plus que 14 nanomètres et on prévoit qu'ils ne dépasseront pas 5 nanomètres à l'horizon 2020. Mais le silicium cesse d'exister sous sa forme solide au-delà du seuil des 10 nanomètres, pour devenir un matériau amorphe. Probablement, donc, le silicium n'aura plus la structure nécessaire

pour la photolithographie. Le processus industriel de miniaturisation est en train de réduire le silicium jusqu'à produire sa disparition.

Qu'est-ce qu'on trouve donc au-delà du silicium ? Une convergence croissante de l'organique et de l'inorganique, du silicium et du carbone, du silicium et des neurones, dans laquelle l'interdépendance des processus matériels et des processus de l'information nous conduira à une nouvelle phase de la vie des humains et des machines, dont on trouve déjà un exemple dans la nouvelle génération de microprocesseurs *neuromorphiques*, qui imitent l'activité neuronale. Les circuits neuromorphiques vont au-delà de la distinction entre le carbone et le silicium et produisent de nouvelles formes d'intelligence matérielle en essayant de reproduire dans le silicium le fonctionnement des neurones, la façon dont les neurones se connectent simultanément et agissent réciproquement sur leurs impulsions électriques par les synapses, processus défini comme la plasticité du cerveau. Chaque nouvelle impulsion provoque un remaniement des synapses, ce qui fait que le cerveau est toujours en devenir. C'est ce processus qui permet l'apprentissage et qui, dans le langage informatique, permet à un système apprenant de se reprogrammer.

Les processeurs neuromorphiques peuvent représenter une nouvelle forme d'intelligence, inconnue jusqu'ici. Ils encodent et transmettent des données d'une façon qui s'efforce d'imiter les décharges électriques générées dans le cerveau en réponse à des informations sensorielles. Mais ils ne se limitent pas à reproduire le fonctionnement du cerveau, qu'ils veulent plutôt *simuler*. Ils peuvent apprendre et s'autoprogrammer à travers des processus chaotiques et non linéaires. Les dispositifs qui les utilisent pourront apprendre et évoluer à travers le *comportement*, plutôt que grâce à des programmes, et pourront être utilisés pour détecter et prévoir des modèles de fonctionnement de données complexes plutôt que pour exécuter des calculs complexes. Ces processeurs pourraient donc transformer les dispositifs techniques en des *assistants cognitifs*, capables de prendre en compte les actions et l'environnement des utilisateurs, d'apprendre leurs habitudes au fil du temps, de comprendre leurs intentions et anticiper leurs besoins. Ils conduiront à une augmentation de l'intelligence environnementale des objets techno-numériques.

La science numérique regarde donc en direction du cerveau et de ses neurones pour relever le défi que représentent la menaçante disparition structurelle du silicium et l'émergence de nouvelles formes d'intelligence qui animent la matière.

Avec son habituel talent d'anticipation, Deleuze déclarait dans un entretien de 1980 :

« Aujourd'hui on assiste à quelque chose de très curieux : la revanche du silicium. Les biologistes se sont souvent demandé pourquoi la vie était "passée" par le carbone plutôt que par le silicium. Mais la vie des machines modernes passe par le silicium : c'est toute une vie non-organique, distincte de la vie organique du carbone. On parlera en ce sens d'un agencement-silicium²⁵. »

L'« agencement-silicium » dont parlait Deleuze n'est pas seulement devenu une réalité, il est même sur le point d'être remplacé par un nouveau type d'agencement, fait de silicium et de neurones. Cependant il ne s'agit pas d'un assemblage du type « cyborg », comme chez Donna Haraway. Deleuze n'est pas concerné par la rhétorique de l'hybridation des années 1990, mais il évoque plutôt un agencement de coévolution et de coproduction technique inspiré surtout par la notion simondonienne de « technogenèse ». Les objets techno-numériques sont totalement intégrés dans ce « milieu » que nous définissons à travers les catégories de nature et culture. Ils ne doivent pas être considérés comme une extension d'un corps qui leur préexiste. Ils sont totalement inhérents à l'humanité, dans la mesure où les humains sont toujours déjà parmi les machines, tout comme les machines sont toujours déjà parmi les humains. Ce nouveau paysage d'objets au-delà du silicium fait clairement signe en direction de ce que Deleuze définissait déjà en 1991 comme une genèse simultanée de la matière et de l'intelligence²⁶.

Traduit de l'anglais par Manola Antonioli

²⁵ Gilles Deleuze, « Huit ans après : entretien 80 », in *Deux régimes de fous. Textes et entretiens 1975-1995*, édition préparée par David Lapoujade, Paris, Les Éditions de Minuit, 2003, p. 164-165.

²⁶ Cf. Gilles Deleuze, *Le Bergsonisme*, op. cit.